

КОЛЕБАНИЯ СКОРОСТИ СВОБОДНО ВРАЩАЮЩЕГОСЯ СОСУДА
С ГЕЛИЕМ II

Дж. С. Цакадзе, С. Дж. Цакадзе

Эксперименты со свободным применением сосудов с гелием II показывают, что возмущения вихревой решетки приводят к колебаниям скорости вращения. Эти данные являются некоторым подтверждением предположения о роли ткачевских колебаний вихревой решетки в поведении пульсаров,

Детальное рассмотрение поведения свободно вращающегося гелия II, которое постепенно замедляется, показывает, что затухание его вращения будет осциллирующей функцией времени, в отличие от классической жидкости, движение которой в аналогичной ситуации, должно быть равномерно затухающим.

Для осцилляции угловой скорости свободного вращения гелия II есть несколько причин [1], но основным по-видимому является воздействие на стенки вращающегося сосуда со стороны колеблющейся решетки квантованных вихрей Онсагера — Фейнмана [2]. Эти колебания были теоретически изучены Ткаченко [3].

Естественно, экспериментальное обнаружение этого эффекта требует весьма чувствительного прибора с маленьким моментом инерции сосуда и с малым затуханием скорости вращения.

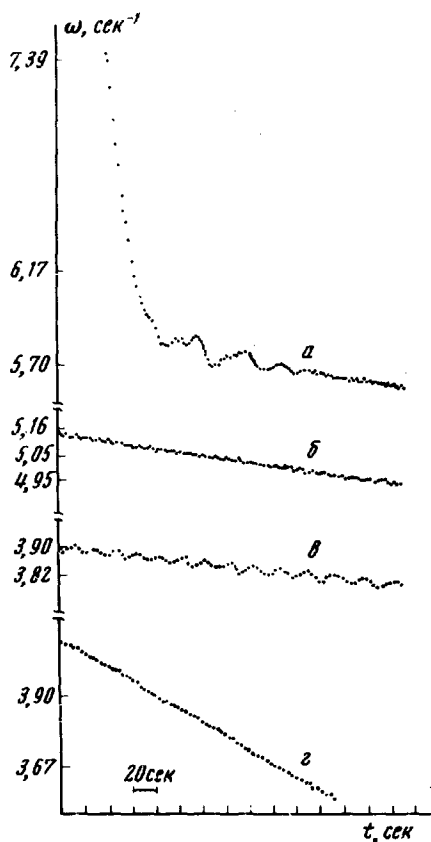
Мы применили магнитный безопорный подвес¹⁾ имеющий минимальное трение. В качестве сосудов для гелия использовались: 1) стакан из органического стекла с диаметром $64 \pm 0,05$ мм, высотой $50,0$ мм и толщиной стенки $0,2$ мм, с гладкими внутренними поверхностями; 2) тот же стакан с шероховатым дном и крышкой. Шероховатость создавалась при помощи песчинок с линейными размерами $0,01$ мм; 3) стеклянная сфера с гладкой внутренней поверхностью и с диаметром $68 \pm 1,5$ мм. Отношение моментов инерции сверхтекучей компоненты гелия II (при $T = 1,46^\circ\text{K}$) и сосудов были: для сосуда 1 — $0,89$, для сосуда 2 — $2,38$, для сосуда 3 — $2,01$.

Вращающиеся сосуды размещались внутри медного экрана, законченного с ванной жидкого гелия. Прибор заполнялся жидкостью при помощи специального стакана и устройства позволяющего перемещать этот стакан вверх — вниз. Как и в прежних экспериментах [1, 4] опыт проводился следующим образом: прибор закручивался и после достижения определенной скорости вращения предоставлялся самому себе. Измерялась зависимость скорости вращения от времени.

¹⁾ Транзисторная электронная схема магнитного подвеса была разработана и смонтирована в ИФП АН СССР в лаборатории А.Н.Ветчинкина под руководством К.А.Жданова, за что авторы приносят им искреннюю благодарность.

Установка была подключена к ЭВМ М-1000 (в режиме " on line ") и обработка результатов эксперимента происходила автоматически¹⁾.

На рисунке приведены предварительные результаты, полученные в экспериментах со стаканом с гладкими поверхностями. Из рассмотрения кривой *a* ясно видно, что непосредственно после ускорения первоначально неподвижного прибора его затухание резко падает (из-за передачи вращательного момента жидкости), а потом со временем меняется по периодическому закону, с периодом $\theta \sim 30''$. С течением времени вращение становится более и более равномерным хотя всегда имеются следы определенных возмущений вращения. На том же рисунке показана временная зависимость скорости вращения через ~ 12 мин после начала вращения (кривая *b*).



Изменение во времени угловой скорости вращения ω_0 . Кривые (а), (б), (в) относятся к гелию II, причем (б) является продолжением (а), а (в) продолжением (б); (а) — начало вращения, (б) — относительно плавное затухание примерно через 12 мин после начала вращения, (в) — вращение при колебаниях прибора; кривая (г) — гелий I при колебаниях прибора (ω_0 в логарифмическом масштабе)

Если заставить вращающийся прибор совершать радиальные колебания с амплитудой $\sim 10^{-2}$ рад (период радиальных колебаний прибора $\sim 1,7$ сек), то по мере увеличения амплитуды колебаний возникают осцилляции скорости вращения прибора (кривая *в*).

¹⁾ Эта система и соответствующая математическая программа созданы Д.И.Гарибашвили, С.М.Шрабштейн, Г.И.Читашвили, Л.М.Сихарулидзе, Л.В.Тепляшиной, за что авторы выражают им искреннюю благодарность.

Аналогичные результаты получены и в случае применения в качестве вращающегося сосуда стакана с шероховатыми торцами.

Контрольные эксперименты, проведенные в гелии I, а так же с пустым прибором (без жидкости) показали, что радиальные колебания подвесной системы с амплитудами $\phi \lesssim 10^{-2}$ рад не вызывают осцилляции его вращения (см. кривую $\dot{\omega}$ на рис. 1).

Что касается экспериментов со сферическим сосудом, то и в этом случае имеются сходные осцилляции скорости, однако они выражены слабее, чем в случае цилиндрического сосуда.

Как известно, угловая скорость вращения пульсара NP0532 (в Крабовидной туманности), который согласно двухкомпонентной модели [5] (как и большинство других пульсаров) состоит из твердой оболочки, заполненной сверхтекучей нейтронной жидкостью, после ускорения начал осциллировать с периодом около трех месяцев [6]. Рудерман [7] полагает, что это явление может быть связано с возмущением вихревой решетки сверхтекучей нейтронной жидкости, в которой подобно вихревой решетки гелия II могут распространяться колебания.

Согласно Рудерману [7], если не учитывать момент инерции бесконечного по длине цилиндрического сосуда, то период основной моды ткаченковских колебаний и вихревой решетки [3] (т. е. максимальный период) можно вычислить по формуле

$$\theta \sim \frac{4\pi}{5} \left(\frac{m}{\hbar \omega_0} \right)^{L/2} R,$$

где m — масса бозона (2 нейтрона в случае пульсара и атом гелия в нашем случае), ω_0 — угловая скорость вращения, а R — радиус сосуда. Для периода колебаний в используемом нами приборе эта формула дает ~ 250 сек, при изменении ω_0 в пределах $4 \div 7$ сек $^{-1}$. Для отношения периодов пульсара "Краба" ($\omega_0 = 190$ сек $^{-1}$, $R \sim 10^6$ см) и нашего прибора эта же формула дает: $\theta_{кр}/\theta_{пр} \sim 4 \cdot 10^4$, в то время как в действительности оно равно: $\theta_{кр}/\theta_{пр} \sim 2 \cdot 10^5$.

Принимая во внимание грубость сделанных оценок можно признать возможным, что колебания прибора генерируют ткаченковские колебания вихрей, что и является причиной наблюдаемых осцилляций скорости вращения. Однако конечные размеры прибора и наличие сосуда с относительно большим моментом инерции могут заметно изменить параметры основной моды колебаний вихревой решетки. Для проверки такого предположения в ближайшее время будет предпринят более подробный анализ. Во всяком случае ясно, что осцилляция угловой скорости вращения является результатом наличия вихревой решетки, поскольку в гелии I такие осцилляции не наблюдаются ни в начале вращения, ни при радиальных колебаниях прибора.

Авторы приносят глубокую благодарность Э.Л. Андроникашвили за стимулирующий интерес к работе и Ю.Г. Мамаладзе за систематические обсуждения.

Литература

- [1] Дж. С.Цакадзе, С. Дж. Цакадзе. ЖЭТФ, 64, 890, 1973.
 - [2] R.P.Feynman. Progress in Low Temp. Phys. North Holland Publ. Co. Amsterdam, 1, chapter 2, 1955.
 - [3] В.К.Ткаченко. ЖЭТФ, 50 1573, 1966.
 - [4] J.S.Tsakadze, S.J.Tsakadze. Phys. Lett., 41A, 197, 1972.
 - [5] G.Bagn, C.J.Pethick, D.Pihes, M.Ruderman. Nature. 224, 872, 1969.
 - [6] D.Richards, G.Pettengil, C.Counselman, J.Rankin. JAU. Circ. №2180, 1969.
 - [7] M.Ruderman. Nature., 225, 619, 1979.
-